

## ⑫ 公開特許公報(A) 平4-449

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>G 03 F 1/08  
H 01 L 21/027

識別記号

W

庁内整理番号

7369-2H

⑬ 公開 平成4年(1992)1月6日

2104-4M H 01 L 21/30 3 0 1 W

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全6頁)

⑭ 発明の名称 マスク修正方法

⑮ 特 願 平2-100357

⑯ 出 願 平2(1990)4月18日

⑰ 発 明 者 細 野 邦 博 兵庫県伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機株式会社エル・

エス・アイ研究所内

⑱ 出 願 人 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号

⑲ 代 理 人 弁理士 曾我 道照 外5名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

マスク修正方法

## 2. 特許請求の範囲

マスク基板に形成されたマスクパターン間の本来シフトパターンがあるべき領域にシフトパターンが形成されていない白欠陥領域に、イオンビームを照射してエッチングすることにより位相シフトマスクのシフトパターンの白欠陥を修正する方法であって、上記エッチングは、上記白欠陥を修正した領域を透過した光とシフトパターンが形成されていない白パターン領域を透過した光との位相が反転する深さまで上記白欠陥領域下のマスク基板を掘り下げることとを特徴とするマスク修正方法。

## 3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

この発明は、マスク修正方法、さらに詳しくは、半導体素子製造における光フォトリソグラフィ工程で用いられる位相シフトマスクのシフトパター

ン欠陥、特に、シフトパターンの白欠陥を修正する方法に関するものである。

〔従来の技術〕

縮小光学式的光ステッパーを用いたリソグラフィ技術の解像限界  $R(\mu\text{m})$  は、

$$R = k_1 \lambda / NA, \quad k_1 = 0.5$$

で表される。ここで、 $\lambda$  は波長 ( $\mu\text{m}$ )、 $NA$  はレンズの開口数である。光リソグラフィは上式に従って、露光波長の短波長化、高  $NA$  化、さらに、レジストのプロセスに依存する定数  $k_1$  を小さくすることにより、解像限界を小さくしている。現在、1 線 ( $\lambda = 0.365 \mu\text{m}$ )、 $NA = 0.5$  のステッパーが実現し、 $k_1 = 0.5$  も可能であるので、 $0.4 \mu\text{m}$  程度の解像が可能になってきている。これ以上の解像限界を得るためには、さらに露光波長の短波長化や高  $NA$  化を進めれば良いのであるが、適当な光源やレンズを得るのが技術的に難しく、さらに、焦点深度  $\delta = \lambda / 2 NA^2$  が小さくなるという問題がある。

これを解決するものとして、特開昭57-

62052号公報や特開昭58-173744号公報に記載されているような位相シフト露光法が提案されている。

第2A図～第2C図は従来のフォトマスク法の原理を示し、第3A図～第3C図は位相シフト露光法の原理を示しており、第2A図及び第3A図はマスク基板の側面断面図、第2B図及び第3B図はマスク上の電場強度、第2C図及び第3C図はウエハ上の光強度をそれぞれ表している。

光リソグラフィの解像限界以下のパターン転写を考えた場合、フォトマスク法のマスクでは、マスク基板( $\text{SiO}_2$ 等)(1)の上に形成されたマスクのマスクパターン(主パターン)(2)を透過した光の電場は、第2B図に示すように空間的に分離した波形である。しかし、光学系を透過したウエハ(図示しない)上の光強度(第2C図)はお互いに重なり合い、パターンの解像はできない。

これに対し位相シフト法は、第3A図に示すように、マスクパターン(2)のパターンスペース部(2a)に1つおきに光の位相を $180^\circ$ 反転させる

(2)が形成されている。マスクパターン(2)間の所定位置には、 $\text{SiO}_2$ やPMMA(ポリメチルメタクリレート)等の樹脂から成る位相シフトパターン(3)が形成されている。第4A図において、(4)はマスクプロセス中に発生した位相シフトパターン(3)の黒欠陥領域を示している。この黒欠陥領域(4)も位相シフトパターン(3)と同様に $\text{SiO}_2$ やPMMAから成る。

この黒欠陥は、次のようにして修正する。すなわち、第4B図に示すように、集束したイオンビーム(5)(FIB, focused ion beam)を用いて黒欠陥領域(4)に照射、走査し、黒欠陥物質をエッチング(ミリング)して削り取る。例えば、 $1\mu\text{m}^2$ の欠陥であれば30KeVの $\text{Ga}^+$ (ビーム電流300pA)のイオンビームを用いれば、数分で除去される。但し、エッチングの終点検出には、上記PMMAを位相シフトパターン(3)に用いた場合の方が適している。これは、終点検出には2次イオンを用いるため、 $\text{SiO}_2$ のようなマスク基板(1)に類似した材料を用いた場合、終点におい

$\text{SiO}_2$ などの膜である位相シフトパターン(シフター)(3)を設けたマスクを用いて転写する方法である。このマスクを透過した光の電場は、交互に位相が反転して第3B図に示すようになる。これをフォトマスク法と同じ光源系で投影したとき、隣合ったパターン像が重なり合う部分では、重なり合う光の位相が反転しているために打ち消すように働き、その結果、第3C図に示すような分離した強度パターンになる。この理由により、位相シフト露光法は解像力がフォトマスク法に比べ高くなり、実験的に最小解像パターン幅が約半分になることが示されている。

次に、位相シフト露光法における位相シフトマスクのパターン欠陥修正方法を説明する。第4A図～第4C図は位相シフトパターンの黒欠陥の修正方法の原理を示し、第5A図～第5C図は位相シフトパターンの白欠陥の修正方法の原理をそれぞれ示している。これらの図において、マスク基板(1)等をより詳細に説明すると、マスク基板(1)上にはCrやMoSiから成るマスクパターン

で2次イオンの取率が変化しにくいためである。第4C図は黒欠陥を修正した結果を示している。マスクパターン(2)の上部に黒欠陥の残り(4a)があるが、マスクパターン(2)は光を透過しないので、問題とはならない。

次に、第5A図～第5C図を参照して、白欠陥の修正方法を説明する。第5A図中、(6)は修正すべき白欠陥領域を示している。この白欠陥の修正は、第5B図に示すように、反応性ガス雰囲気中でイオンビーム(5)を照射することによって、シフト材料(7)を白欠陥領域(6)に堆積させることによって行う。この方法は、いわゆるイオンビームアシスト法を用いた膜堆積(デポジション)法である。イオンビーム(5)は黒欠陥修正と同等のものをを用い、修正すべき白欠陥領域(6)を複数回走査する。この間、反応性ガスをノズル(8)によって白欠陥を修正する領域の付近まで導入し、ノズルビーム(9)として噴出させる。ノズル(8)とマスク基板(1)との間隔は、数百 $\mu\text{m}$ 程度であり、ノズルビーム(9)の中心が修正部分に当たるよう

にする。反応性ガスとしては、ここでは $\text{SiH}_4$ と $\text{O}_2$ を用い、イオンビーム(5)を照射することによってこれらのガスを分解、反応させ、白欠陥領域(6)にシフト材料(7)として $\text{SiO}_2$ (もしくは $\text{SiO}_x$ )を堆積させる。第5C図は白欠陥の修正結果を示している。この場合、 $\text{SiO}_2$ を堆積させているので、その厚さは100nm程度である。堆積させる $\text{SiO}_2$ の組成、構造は、イオンビーム(5)の照射条件、反応性ガスの雰囲気等によって異なるので、堆積させる $\text{SiO}_x$ の厚さは最適化する必要がある。

#### 〔発明が解決しようとする課題〕

上述したようなマスク修正方法では、位相シフトパターンの白欠陥の修正に $\text{SiH}_4$ のような毒性、自然性のガスを用いるので、安全確保のため装置に複雑なガス供給装置を設けなければならない、また、装置の制御も慎重に行わなければならないという問題点があった。

また、イオンビームアシスト法を用いた膜堆積法はエッチングを用いる場合に比べて精度が厚く

るので、隣接した透過光の裾が干渉して打ち消し合うので白欠陥を修正することができる。また、コントラストの高い露光が可能となり、さらに、エッチングのみを用いているため、加工精度も高く保つことができる。

#### 〔実施例〕

第1A図～第1C図はこの発明の一実施例による位相シフトパターンの白欠陥を修正する方法の原理を示す図であり、(1)～(3)、(5)、(6)は上述した従来のマスク修正方法におけるものと全く同一である。第1A図において、石英製のマスク基板(1)上にマスクパターン(主パターン)(2)が形成されている。この図の場合、位相シフトパターン(3)は主パターン(2)の間に1つおきに形成されているはずであるが、(6)の部分有位相シフトパターン(3)の白欠陥領域となっている。この白欠陥領域(6)の修正は、集束イオンビーム(5)を白欠陥領域(6)に照射し、その領域の下のマスク基板(1)を走査して物理的にエッチングすることにより行う。イオンビーム(5)としては、

なるため、位相シフトパターンの黒欠陥修正に比べて白欠陥修正の方が精度が劣るという問題点があった。

この発明は、このような問題点を解決するためになされたもので、マスク修正装置を簡略化できると共に、位相シフトマスクにおけるシフトパターンの白欠陥を安全で高精度に修正できるマスク修正方法を得ることを目的とする。

#### 〔課題を解決するための手段〕

この発明に係るマスク修正方法は、位相シフトパターンの白欠陥修正方法として、イオンビームアシスト法によるシフトパターンの膜堆積の代わりに、イオンビームを用いたエッチング法を用いたものである。

#### 〔作用〕

この発明においては、白欠陥領域のマスク基板をスパッタエッチングによって掘り下げ、これに隣接した白パターンと互いの透過光の位相を変えることができる。すなわち、掘り下げるマスク基板の深さを透過光の位相が逆転するように設定す

例えば30KeVの $\text{Ga}^+$ (ビーム電流は300pA、ビーム径は0.1 $\mu\text{m}$ φ)を用いる。イオンビーム(5)で白欠陥領域(6)を複数回走査することによって、その下のマスク基板(1)を所定の深さd(nm)だけエッチングする(第1C図)。すなわち、マスク基板(1)のエッチング領域(10)を透過する光とエッチングされていないシフトパターンのない領域(白パターン(11))を透過する光との光路差が1/2波長の奇数倍となるようにエッチングする。このようなエッチングによって、白欠陥領域(6)部分を透過する光とこれに隣接する白パターン(11)を透過する光とが干渉し合って打ち消し合うので、白欠陥を修正したことになる。

エッチングする深さdは、ビーム電流が一定であればイオンビーム(5)を照射する時間を加減することによって調整することができる。光路差は、 $(n-1) \cdot d$ (ここで、nは石英ガラスの屈折率)で表されるから、透過光の波長を $\lambda$ (nm)とすれば次の関係式が成り立つように深さdを決めればよい。

$$(n-1) \cdot d = (2m-1) \lambda / 2$$

(ただし、 $m = 1, 2, \dots$ である。)

ここで、光源として水銀ランプの*i*線を例に取れば、 $\lambda = 365 \text{ nm}$ 、 $n = 1.476$  ( $\lambda = 365 \text{ nm}$ の時の屈折率)とすれば、 $d$ は約 $383 \text{ nm}$ となる。位相シフトパターンの白欠陥の修正は、以上のようにして行われる。

また、位相シフトパターンの黒欠陥の修正は、従来方法と同様にして、黒欠陥部分のシフトパターンのみをエッチング除去すればよい。従って、従来、別々な方法により行っていた黒欠陥と白欠陥の修正を同じ装置により行うことができるので、マスク修正装置を簡略化することができる。

なお、上述した実施例では、イオンビーム(5)として $30 \text{ KeV}$ の $\text{Ga}^+$ を用いたが、例えば $\text{In}^+$ 等他のイオンを用いても上記と同様な結果が得られる。また、イオンビームのエネルギー、電流も上記の例に限られず、最もエッチング効率がよく、かつ加工精度の良い条件に設定すればよい。

〔発明の効果〕

法を説明する原理図、第4A図～第4C図は従来の位相シフト露光法による黒欠陥の修正方法を説明する原理図、第5A図～第5C図は従来の位相シフト露光法による白欠陥の修正方法を説明する原理図である。

図において、(1)はマスク基板、(2)はマスクパターン、(3)は位相シフトパターン、(5)はイオンビーム、(6)は白欠陥領域、(10)はエッチング領域、(11)は白パターンである。

なお、各図中、同一符号は同一または相当部分を示す。

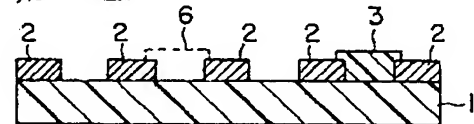
代理人 曾我道照

この発明は、以上説明したとおり、マスク基板に形成されたマスクパターン間の本来シフトパターンがあるべき領域にシフトパターンが形成されていない白欠陥領域に、イオンビームを照射してエッチングすることにより位相シフトマスクのシフトパターンの白欠陥を修正する方法であって、上記エッチングは、上記白欠陥を修正した領域を透過した光とシフトパターンが形成されていない白パターン領域を透過した光との位相が反転する深さまで上記白欠陥領域下のマスク基板を掘り下げるので、マスク修正装置を簡略化できると共に、 $\text{SiH}_4$ 等を使用しないのでマスク修正操作を安全に行うことができ、さらにエッチングにより高精度に修正できるという効果を奏する。

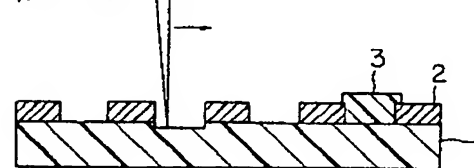
#### 4. 図面の簡単な説明

第1A図～第1C図はこの発明の一実施例による位相シフトパターンの白欠陥を修正する方法を説明する原理図、第2A図～第2C図は従来のフォトリソ法によるマスク修正方法を説明する原理図、第3A図～第3C図は従来の位相シフト露光

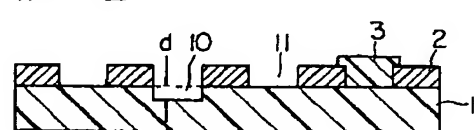
第1A図



第1B図

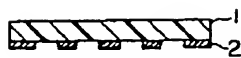


第1C図

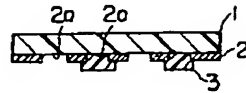


- |              |             |
|--------------|-------------|
| 1: マスク基板     | 5: イオンビーム   |
| 2: マスクパターン   | 6: 白欠陥領域    |
| 3: 位相シフトパターン | 10: エッチング領域 |
|              | 11: 白パターン   |

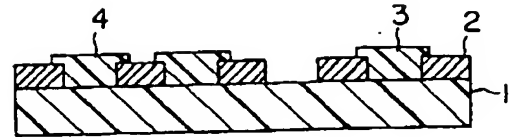
第2A図



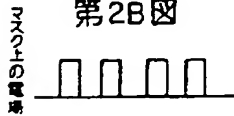
第3A図



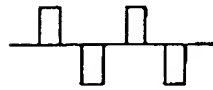
第4A図



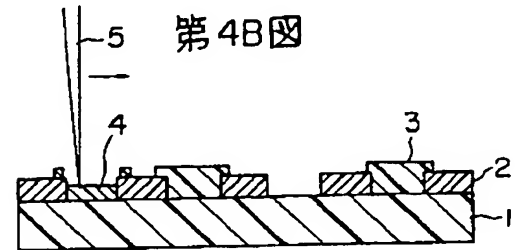
第2B図



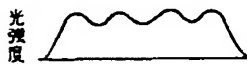
第3B図



第4B図



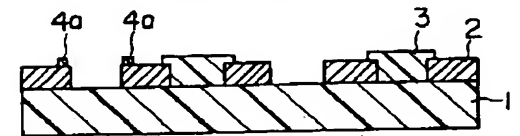
第2C図



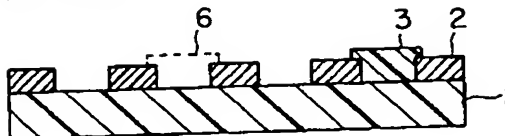
第3C図



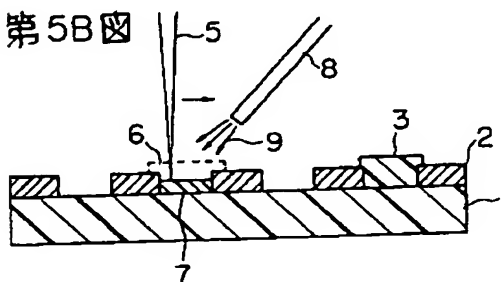
第4C図



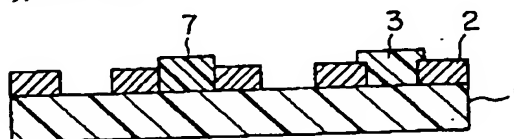
第5A図



第5B図



第5C図



手続補正書

平成2年8月6日

特許庁長官 殿

1 事件の表示

特願平 2-100357号

2 発明の名称

マスク修正方法

3 補正をする者

事件との関係

特許出願人

住所

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

名称

(601)三菱電機株式会社

代表者 志岐 守 哉

4 代理人

住所

東京都千代田区丸の内三丁目1番1号

国際ビルディング 8階

電話 03(216)5811〔代表〕

氏名

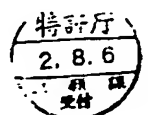
(5787)井理士 曾 我 道 照



5 補正の対象

(1) 明細書の発明の詳細な説明の欄

方式  
審査



6. 補正の内容

- (1) 明細書第7頁第16行「ガス供給装置」を「ガス供給装置及びガス回収装置」に補正する。
- (2) 同第11頁第12行「同じ装置」を「同じ原理」に補正する。
- (3) 同第11頁第15行「In」を「In<sup>+</sup>、In<sup>++</sup>、Sn<sup>+</sup>、Sn<sup>++</sup>、Au<sup>+</sup>、Au<sup>++</sup>、Si<sup>+</sup>、Si<sup>++</sup>、Be<sup>+</sup>、Be<sup>++</sup>」に補正する。